

Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft eine Kombination von Elastomeren (Polymere, Silikone, Gummi etc.) mit Memory- bzw. Formgedächtnislegierungen entweder als neue Verbundwerkstoffe aus der Elastomeren-Matrix (1) mit den darin eingebetteten Memory-Elementen (2) oder als neue aus den Elastomeren-Teilen (1) und den Memory-Elementen (2) mechanisch zusammengesetzte Werkstoffverbunde zur Herstellung von industriellen Produkten oder Kunstobjekten mit beweglichen Design-Komponenten, welche komplexe und wiederkehrende Formänderungen bei Temperaturveränderungen ihrer Umgebung oder ihrer Memory-Elemente (2) durch das Ein- und Ausschalten einer an diese angeschlossenen elektrischen Stromquelle erzeugen und dadurch das Aussehen dieser industriellen Produkte oder Kunstobjekte dynamisch beeinflussen, wobei das Wiederkehren der Formänderung dadurch gewährleistet ist, dass diese Formänderung durch die auf die Elastomeren-Matrix (1) bzw. Elastomeren-Teil (1) wirkende pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (1) bei ihrem Erwärmen und die Rückstellung dieser Formänderung durch die elastische Gegenkraft (Biaskraft) der Elastomeren-Matrix (1) bzw. des Elastomeren-Teils (1) beim Abkühlen der Memory-Elemente (2) ~~bei ihrem Abkühlen~~ verursacht werden (Fig. 2). Wird so eine Design-Komponente an eigene Stromquelle angeschlossen, ermöglicht dies periodische oder komplexe nach ihrer Größe und Dauer gesteuerte Formänderungen.

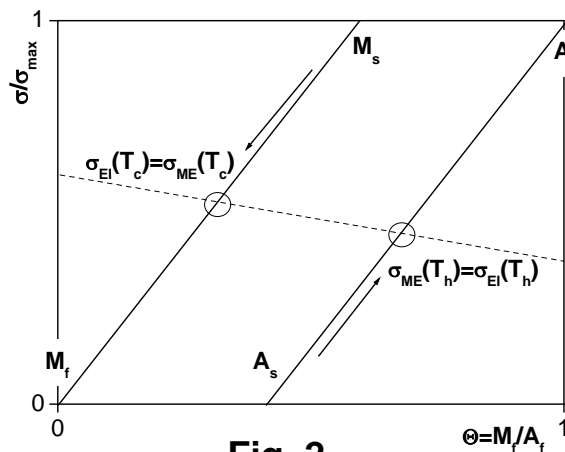


Fig. 2

Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen sowie bewegliche Design-Komponenten hiervon

Nach dem Stand der Technik sind verschiedene Aktuatoren mit aktiven Memory-Elementen in einer mechanischen Kombination mit passiven elastischen Bias-Metallelementen bekannt. Ihrem Funktionsprinzip liegt eine Formänderung eines Memory-Elements bei seiner Erwärmung durch elektrischen Strom zugrunde, die in Translations- oder Rotationsbewegungen übersetzt wird, wobei die Rückkehr zur Tieftemperaturform des aktiven Memory-Elements durch die elastische Kraft des Bias-Metallelements erzwungen wird.

In deutschem Patent DE 100 30 025 A1 ist eine Vorrichtung zur Positionierung eines Stellelements vorgelegt, die ein reversibel dehnbares und kontrahierbares, elektromechanisches Element aus einer Memory-Legierung enthält, dessen Hinbewegung durch den elektrischen Strom mit steuerbarer Stromstärke und dessen Rückbewegung durch die elastische Kraft einer Gegenfeder beim ausgeschalteten Strom initiiert werden.

In deutschem Gebrauchsmuster DE 201 14 702.5 ist ein Temperaturregelventil für Heiz- bzw. Kühlsysteme zur Regelung der Durchflusstemperatur des flüssigen oder gasförmigen Heiz- bzw. Kühlmittels durch die Steuerung des Durchfluss-Querschnittes und somit der Durchflussmenge mit Hilfe einer thermoempfindlichen Membran aus einer Memory-Legierung oder Memory-Membran, die den Durchfluss durch ihre temperaturabhängigen Formänderungen zwischen zwei Positionen "Auf" und "Zu" reversibel beeinflusst. Die sich wiederholende reversible Formänderung der Memory-Membran wird in verschiedenen Ausführungen des Ventils entweder durch die Zweiweg-Memoryeffekt oder durch die Gegenwirkung einer Metallfeder gewährleistet.

In deutschem Gebrauchsmuster DE 202 01 578.5 wird die Wiederherstellung der Tieftemperaturform bzw. der martensitischen Rastverformung eines abgekühlten Memory-Elements durch die Rückstellungskraft eines anderen aktiven dem ersten entgegengesetzten Memory-Elements bewirkt, was die Arbeitszyklus solches zusammengesetzten Memory-Aktuators zeitlich symmetrisieren und besser steuern lässt.

Andererseits sind Anwendungen von leichtformbaren, bei Temperaturen über ihrer Glas-temperatur elastischen, durch Einwirkung von diversen Weichmachern leichtverformbaren und durch Polymerisation in verschiedenen Verfahren zu verfestigenden Elastomeren für die Fertigung von verschiedenen Produkten des industriellen – Dichtungen, Reifen, Ansätze und Bekleidung von diversen Teilen, Verhütungsmittel usw. (O. Schwarz, H. Schirber, N. Schlör. Kunststoffkunde: Aufbau, Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendungen der Thermoplaste, Du-

roplaste und Elastomere. Ebeling (Hrsg.), Vogel Fachbuch, 2007, 304S; "Rubber parts & rubber-metal-parts. Rubber home of cofermin chemicals". Essen, Germany: <http://www.rubber-products.org>) – oder medizinischen – Implantate einschließlich Brustsilikonimplantate, Zahnimplantate und -prothesen, Abformmassen usw. (K. Eichner, H.F. Kappert. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Stuttgart, 2006) – Bedarfs bekannt.

Elastomere sind amorphe Werkstoffe, für welche das gummielastische Verhalten bei Raumtemperatur charakteristisch ist, d. h. ihr Glasübergangstemperaturbereich bei sehr tiefen Temperaturen (zwischen -70 und -130°C) liegt. Unter gummielastischem Verhalten versteht man die Fähigkeit eines Stoffes, sich unter Einwirkung einer Außenkraft stark (bis 400%) – ohne zu reißen – zu verformen und diese Verformung nach Wegnehmen der einwirkenden Kraft vollkommen zurückzustellen. Zu Elastomeren zählen vor allem sowie Naturkautschuk als auch Synthetikautschuk (Polymere einschließlich Silikone). Die Waren aus Elastomeren werden vorwiegend in Guss-, Spritzguss-, Press-, Schleuder- und Schaumverfahren hergestellt.

Es sind auch Elastomeren-Metall-Verbindungen für Vibrationsdämpfung und Geräuschdämmung bekannt, in denen allerdings nur konventionelle, also nicht Memory- bzw. Formgedächtnislegierungen in Elastomere eingebettet werden. Aus dem Stand der Technik sind einige Kombinationen von Polymeren und Memory- bzw. Formgedächtnislegierungen in sowohl unbeweglichen als auch in beweglichen Konstruktionen bekannt.

In US Patent 5614305 ist ein Polymer-Formgedächtnislegierung-Verbund dargelegt, in dem mehrere Formgedächtnislegierung-Faser in eine Polymermatrix eingebettet werden, welche eine Stoßeinwirkung durch die stressinduzierte martensitische Umwandlung dämpfen und dadurch die Polymermatrix vor der Zerstörung schützen. Also, in dieser Anwendung werden Memory-Elemente des Verbundwerkstoffes nicht als aktive Bewegungselemente, sondern als passive Dämpfungselemente benutzt.

In deutschem Patent DE 19529500 C2 handelt es sich um ein Verbundgewebe mit Memory-Elementen, welches aus zwei flachen Schichten aus einem konventionellen elastischen Polymerstoffgewebe und den zwischen diesen Schichten nach der Art eines Sandwich eingearbeiteten mäanderförmigen Memory-Drähten besteht und für die Behandlung von Anschwellungen und Ödemen an menschlichem Körper verwendbar ist. Reversible periodische Formänderungen der Memory-Mäander und somit des ganzen Gewebes in den aus diesem Verbundgewebe hergestellten Massagevorrichtungen werden sowohl durch die Zweiweg-Memoryeffekt als auch durch die Gegenkraft der während der durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Erwärmungsphase zusammengepressten Anschwellung des menschlichen Körpers beim Abkühlen dieser Memory-Mäander erzeugt. Die elastische Kraft der Stoffschichten ist dabei schwach und wirkt gegen die Rückstellung der Tieftemperaturform. Das Stoffgewebe dient nur der Einheit-

lichkeit des ganzen Verbundgewebe und der Gewährleistung von großen Längeänderungen des Gewebe durch die Längeänderungen von Memory-Mäandern, während die Rückkehr der Memory-Mäander zu ihrer Tieftemperaturform (ausgedehnt) durch den Druck der Anschwellung des menschlichen Körpers erfolgt.

Ein selbstangetriebenes Rad als Roboter aus mehreren in einen ringförmigen elastischen Polymerriemen als Radspeichen eingebauten Memory-Drähten wird vorgeschlagen (Will Knight in „New Scientist“ vom 30.06.2004), in dem die martensitische Rastverformung von einzelnen aktiven Memory-Drähten im Tieftemperaturzustand durch die elastische Kraft des Rohres wiederhergestellt wird. Hier wird zwar die elastische Kraft des Polymerriemens als eines Konstruktionsteils mit eigener Funktion – Reife des Rades – benutzt, aber die ganze Konstruktion ist zu eigenartig und die Riemenform des Polymerteils viel zu einfach für die Verwendung als Bauteil oder Antrieb in anderen Anlagen oder Designprodukten.

Eine derartige Kombination von Elastomeren und Memory-Legierungen ist von L. Grenacher und den anderen beschrieben (Experimentelle Radiologie 177(2005)986-991), aber die Silikonhülle um die Spule aus einem Nitinol-Draht mit Memory-Eigenschaften dient nur als biokompatibler Schutz des Körperinneren vom Kontakt mit dem Memory-Legierung.

In europäischem Patent EP 1 278 958 B1 wird eine Kombination aus einer auf *Mo*-Substrat aufgetragene Formgedächtnislegierung-Schicht und einer diese umhüllenden Polymerschicht als ein Mikrosystem-Aktuator dargelegt, in der die Wiederherstellung der martensitischen Rastverformung allerdings durch die elastische Kraft des *Mo*-Substrats erfolgt, während die Polymerschicht aus einem Thermoplast die Hochtemperaturform der Konstruktion beim Abkühlen unter die Glasstemperatur fixieren soll und die Wiederherstellung deren Tieftemperaturform durch das *Mo*-Substrat erst beim nachfolgenden Wiedererwärmen über die Glasstemperatur in den elastischen Bereich des Thermoplasts ermöglicht. Also, auch in dieser sehr spezifischen und nicht nachvollziehbar komplizierten Anwendung wird die Elastizität von Polymeren nicht benutzt, sondern dasselbe Bias-Prinzip angewendet.

Polymere wie Elastomere, welche sich in ihrem erweichten Zustand leicht zu exbeliebigen Design-Formen bearbeiten lassen und in ihrem gehärteten polymerisierten Zustand hohe Elastizität aufweisen, finden als aktive Konstruktions-Designkomponenten in Kombination mit Formgedächtnislegierungselementen oder Memory-Elementen weder in Verbundwerkstoffen noch in Werkstoffverbunden bisher keine Anwendung.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, neue vielseitig anwendbare Verbundwerkstoffe bzw. Werkstoffverbunde mit neuen mechanischen Eigenschaften aus Elastomeren, wie z. B. Silikon oder Gummi, und Memory-Legierungen darzulegen, welche aktive, beweg-

liche industrielle oder Kunstdesign-Komponenten mit großen Bewegungsamplituden ohne zusätzliche Bias-Elemente herstellen lassen, die ihre Design-Form entweder passiv durch die Temperaturveränderung ihrer Umgebung ändern oder sich durch den elektrischen Strom aktiv steuern lassen und ihre Profile dabei auf eine vorgegebene Weise ändern.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patenthauptansprüche 1 und 2. Die vorteilhaften Ausführungsformen und zweckmäßigen Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen 3 bis 10 beschrieben.

Das vorteilhafte erfindungsgemäße Verbinden nach Anspruch 1 von Elastomeren als einer Elastomeren-Matrix (1) mit Memory-Legierungen als mehreren in die Elastomeren-Matrix (1) eingebetteten Memory-Elementen (2) ergibt neue Verbundwerkstoffe für die Herstellung von industriellen und Kunstdesign-Produkten bzw. Design-Komponenten, welche ihre Form bzw. ihr Profil bei der Temperaturveränderung ihrer Umgebung oder ihrer Memory-Elemente (2) durch Ein- und Ausschalten des elektrischen Stroms im an diese angeschlossenen Stromkreis unter der entgegengesetzten Wirkung der pseudoelastischen Kraft der in die Elastomeren-Matrix (1) eingebetteten Memory-Elemente (2) und der elastischen Kraft der Elastomeren-Matrix (1) mehrfach und wiederkehrend ändern.

Das vorteilhafte erfindungsgemäße mechanische Zusammensetzen nach Anspruch 2 der Elastomeren-Teile (1) und der Memory-Elemente (2) ergibt neue Werkstoffverbunde für die Herstellung von industriellen und Kunstdesign-Produkten, welche ihre Form bzw. ihr Profil mit der Temperaturveränderung ihrer Umgebung oder ihrer Memory-Elemente (2) durch Ein- und Ausschalten des elektrischen Stroms im an diese angeschlossenen Stromkreis unter der entgegengesetzten Wirkung der pseudoelastischen Kraft der mit dem Elastomeren-Teilen (1) mechanisch zusammengesetzten Memory-Elemente (2) und der elastischen Kraft der Elastomeren-Teile (1) ebenso wie im Anspruch 1 mehrfach und wiederkehrend ändern.

Das vorteilhafte erfindungsgemäße Einbetten nach Anspruch 3 der Memory-Elemente (2) in die Elastomeren-Matrix (1) in einem konventionellen Spritzgussverfahren erleichtert die Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffes und gewährleistet seine Funktionalität als einer Einheit während der Änderungen zwischen den Soll-Tieftemperatur- und Soll-Hochtemperaturformen bei Temperaturveränderungen der Umgebung bzw. der Memory-Elemente (2) und ergibt neue vielseitig anwendbare Verbundwerkstoffe mit neuen mechanischen Eigenschaften. Durch die martensitische Verformung der Memory-Elemente (2) in ihrem „weichen“ martensitischen Zustand bei der Raumtemperatur zu ihrer Soll-Tieftemperaturform wird die Form von Memory-Elementen (2) der Design-Form der Elastomeren-Matrix (1) angepasst. Zu dieser Design-Form bzw. zu dieser Soll-Tieftemperatur kehren die Memory-Elemente (2) bei ihrem Abkühlen unter der elastischen Kraft der Elastomeren-Matrix (1) zurück.

Das vorteilhafte erfindungsgemäße Polymerisieren nach Anspruch 4 der Elastomeren-Matrix (1) mit den in diese eingebetteten Memory-Elementen (2) in ihrer Design-Form in einem Selbst- oder Kalthärtungsverfahren bzw. in einem Vulkanisationsverfahren bei Temperaturen tiefer als die Start-Temperatur der martensitischen Rückumwandlung (A_s) der Memory-Elemente (2) verhindert Entwicklung der pseudoelastischen Kraft der Memory-Elemente (2) während des Polymerisierensverfahrens und gewährt dadurch die Erhaltung der Tieftemperaturdesign-Form sowie die Einheitlichkeit der Elastomeren-Matrix (1) mit den Memory-Teilen (2) als eines Verbundwerkstoffes.

Durch das vorteilhafte erfindungsgemäße Formen und Polymerisieren nach Anspruch 5 in einem konventionellen Spritzgussverfahren werden die Elastomeren-Teile (1) in ihrer Design-Form hergestellt, welche diese durch ihre Elastizität beim Abkühlen der Memory-Elemente (2) unter die Start-Temperatur der martensitischen Hinumwandlung (M_s) anstreben sollen.

Das vorteilhafte erfindungsgemäße mechanische Zusammensetzen nach Anspruch 6 der nach Anspruch 5 gebildeten Elastomeren-Teile (1) mit den Memory-Elementen (2) in ihrer durch die martensitische Verformung der Design-Form der Elastomeren-Teile (1) angepassten Soll-Tieftemperaturform zu einer einheitlichen Design-Konstruktion ergibt neue vielseitig anwendbare Werkstoffverbunde mit neuen mechanischen Eigenschaften, welche ihre Design-Form bei Temperaturveränderungen der Umgebung bzw. der Memory-Elemente (2) zwischen zwei ihnen vorgegebenen Soll-Formen wechseln. Dabei wird die Soll-Hochtemperaturform der Memory-Elemente (2) durch ihre Wärmebehandlung bei 800°C in einem die bei der Raumtemperatur vorgegebene Soll-Hochtemperaturform festhaltenden und die Rückstellung dieser Form verhindernden Gerüst eingepreßt. Bei dieser Wärmebehandlung verwandelt sich die martensitische bei der Raumtemperatur vorgegebene Verformung in die plastische Verformung. Beim Erwärmen der Memory-Elemente (2) streben diese nach dieser Soll-Hochtemperaturform durch das Entwickeln der pseudoelastischen gegen die elastische Kraft der Elastomeren-Teile (1) wirkenden Kraft.

Durch den vorteilhaften erfindungsgemäßen Ein- bzw. Anbau nach Anspruch 7 der Design-Komponenten aus den erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffen bzw. Werkstoffverbunden in verschiedene Leucht- bzw. Heiz- und Wärmeanlagen werden reversible Bewegungen durch die beim Erwärmen direkt durch die Wärme der Anlage nach deren Einschalten entstehende und die elastische Kraft der Elastomeren-Matrix (1) bzw. der Elastomeren-Teile (1) übersteigende pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (2) sowie durch die elastische die beim Abkühlen nach dem Ausschalten der Anlage nachlassende pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (2) übersteigende Kraft der Elastomeren-Matrix (1) bzw. der Elastomeren-Teile (1)

erzeugt werden, welche diese Design-Komponenten als Indikatoren oder Aktuatoren können verwenden lassen.

Durch das vorteilhafte erfindungsgemäße Anschließen nach Anspruch 8 der Memory-Elemente (2) durch elektrische Kontakte an ihren Endungen an eine Stromquelle werden gezielte durch das Ein- und Ausschalten des elektrischen Stroms gesteuerte periodische Formänderungen der Design-Komponenten aus den erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden ermöglicht.

Das ringsförmige Einbetten nach Anspruch 9 von mehreren durch ihre martensitische Dehnung bei der Raumtemperatur verformten Memory-Elementen (2) ins Reifengummi als Gummi-Matrix (1) zwischen dem Stahlgürtel und der Lauffläche, welche in der Mitte das Sommerreifenprofil, beiderseitig ein Winterreifenprofil und ebenfalls beiderseitig, an äußersten Rändern um den Reifen herum, mehrere Stahlstifte als Dornen aufweist, ergibt eine neue Art von adaptiven Hightech-Autoreifen, die in einem Normalfall das Sommerprofil die Verbindung mit trockenem Untergrund herstellen, während sich das Winterprofil und die Dornen seitlich ohne Kontakt zur Fahrbahn befinden.

Durch das Erwärmen nach Anspruch 10 der in die Gummi-Matrix (1) der adaptiven Autoreifen ringsförmig eingebetteten Memory-Elemente (2) durch den am Steuerbrett im Auto gesteuerten elektrischen Strom entsteht der gleichmäßige Druck durch die pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (2) auf den Stahlgürtel der Autoreifen in ihrem ganzen Umfang und das Sommerprofil wird bei einer wetterbedingten Verschlechterung seiner Haftung mit der Fahrbahn eingedrückt, sodass erst das Winterprofil und dann beim weiteren Erwärmen der Memory-Elemente (2) und Vergrößern deren pseudoelastischen Kraft die Stahlstifte als Dornen aus ihrer seitlichen Lage in Kontakt mit der Fahrbahn befördert werden und somit die Haftung der Reifen mit der Fahrbahn bei deren Vereisung erheblich erhöhen. Die vom Steuerbrett des Autos gesteuerte elektrische Verbindung zwischen dem Autogenerator und den Memory-Elementen (2) in der Gummi-Matrix (1) der Autoreifen kann dabei durch die mit elektrischen, durch elektrische Leitungen in den Achsen und entsprechende, z. B. in deutschem Patent DE102008001361 A1 vom 05.11.2009 beschrieben, Schleifkontakte zu dem Autogenerator angeschlossenen Kontakten in den Metallfelgenhörnern verbundenen Stahldrähte bzw. die Leitungsdrähte der beiden Wülste hergestellt werden.

Weitere Einzelheiten, Ausführungsformen, Merkmale und Vorteile der vorgelegten Erfindung sind aus den Zeichnungen und aus der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen.

Es zeigen:

Fig. 1 schematische Darstellung der martensitischen Hin- und Rückumwandlungen unter einer konstanten Last und deren durch die charakteristischen Umwandlungstemperaturen bezeichnete Hysterese, wobei ε – die beim Abkühlen und Erwärmen über den Temperaturbereich der martensitischen Hin- und Rückumwandlungen unter einer konstanten Last entwickelte und reversibel zurückgestellte martensitische Verformung, M_s und M_f – die Start- und Finish-temperaturen der martensitischen Hinumwandlung, A_s und A_f – die Start- und Finishtemperaturen der martensitischen Rückumwandlung sind.

Fig. 2 schematische Darstellung der relativen Veränderung der pseudoelastischen Spannung eines festgeklemmten Memory-Elements sowie der elastischen Spannung eines Elastomeren-Teils bei Veränderungen ihrer Temperatur, wobei $\sigma_{EI}(T_c)$, $\sigma_{EI}(T_h)$, $\sigma_{ME}(T_c)$ und $\sigma_{ME}(T_h)$ entsprechende Spannungswerte für Elastomeren (EI) und Memory-Elemente (ME) bei ihrem Aufheizen (h) und Abkühlen (c) sind.

Fig. 3 Entwicklung der pseudoelastischen Spannung eines mit 180 MPa vorbelasteten realen Memory-Elements aus einer Cu-Basis Memory-Legierung bei Veränderungen seiner Temperatur über den Temperaturbereich der martensitischen Hin- und Rückumwandlungen, wobei T_B und σ_B – die Temperatur (Bruchtemperatur) und Spannung (Bruchspannung), bei denen sich ein Memory-Element während seiner Erwärmung im festgeklemmten Zustand selbst bricht

Fig. 4 a, b Eine Design-Lampe bzw. eine Design-Komponente aus dem erfindungsgemäßen Verbundwerkstoff (a) – einer durchsichtigen oder farbigen Silikon-Matrix (1) und mehreren Memory-Elementen (2), die bei ihrer Erwärmung durch eine Wärmequelle (Glühbirne (3) oder geheizte Metallboden (3)) die ursprüngliche Design-Form der Lampe auf eine komplizierte, von der Platzierung der Memory-Elemente (2) in der Elastomeren-Matrix (1) abhängige Weise (b) verändern.

Fig. 5 a, b Eine Design-Komponente bzw. ein Design-Wärmeindikator aus dem erfindungsgemäßen Werkstoffverbund – einer Silikon-Matrix (1) und einem Memory-Element (2), welches bei seiner Erwärmung durch eine Wärmequelle (Heizkörper im Kontakt mit dem Metallboden (3) des Design-Indikators) die ursprüngliche Design-Form (a) – eine Kugel z. B. – zu einer anderen Design-Form (b) („Kerze“ z. B.) durch die Wirkung seiner pseudoelastischen Kraft verändert.

Fig. 6 a, b, c Ein Design-Autoreifen aus dem erfindungsgemäßen Verbundwerkstoff (a) – einer Gummi-Matrix (1) und mehreren Memory-Elementen (2), welche bei ihrer Erwärmung durch den am Kontaktstelle zwischen beiden Wülsten 7 und den Felgehörnen 8 zugeführten elektrischen Strom die ursprüngliche runde Design-Form des Gummi-Reifen so verflachen,

dass sich die mit der Fahrbahn kontaktierende Lauffläche des Autoreifens vom Sommerprofil 4 (a) zunächst zum Sommer-Winterprofil 5 (b) und schließlich, in einem Extremfall, zum Sommer-Winter-Dornenprofil 6 (c) verkompliziert und die Haftung des Autoreifens mit der Fahrbahn dadurch erheblich steigern lässt.

Fig. 7 a, b Ein aus einer Walzplatte (a) ausgeschnittenes Memory-Element (2) für den erfindungsgemäßen in Fig. 5 dargestellten Werkstoffverbund, welchem seine konische Spiralförmigkeit durch die Wärmebehandlung in einer Soll-Hochtemperaturform (b) festhaltenden Gerüst eingeprägt wird.

Werkstücke aus Formgedächtnislegierungen (Memory-Legierungen) besitzen die Eigenschaft, ihre Geometrie zwischen einer ursprünglichen, z. B. durch ihre Herstellung (Drahtziehen, Walzen usw.) vorgegebenen Hochtemperaturform und einer durch die martensitische Verformung bei Tieftemperaturen veränderten Tieftemperaturform bei Temperaturveränderungen zu wechseln, d. h. sich an ihre ursprüngliche Hochtemperaturform bzw. an ihre veränderte Tieftemperaturform zu erinnern und diese bei zyklischen Temperaturveränderungen reversibel wiederherzustellen.

Dieser Eigenschaft liegen sogenannte thermoelastische martensitische Umwandlungen, also durch kooperative Verschiebung von mehreren Atomflächen stattfindende Veränderung des Kristallgitters, zugrunde. Beim Abkühlen findet in einem Temperaturbereich $M_s \div M_f$ – Start- (s) und Finishtemperaturen (f) – die Hinumwandlung (Fig. 1) der Hochtemperaturphase „Austenit“ in die Tieftemperaturphase „Martensit“ statt. Die Rückumwandlung des Martensits in den Austenit findet dementsprechend beim Erwärmen in einem charakteristischen Temperaturbereich $A_s \div A_f$ statt. Der gesamte Umwandlungs- bzw. Formänderungstemperaturintervall $M_f \div A_f$ kann je nach der Legierungszusammensetzung von zehn bis zu Hunderten Grad betragen und zwischen -200°C und $+400^\circ\text{C}$ liegen.

Die spontane reversible Formänderung eines Memory-Elements zwischen seinen Tief- und Hochtemperaturformen ohne Einwirkung einer Außenkraft und nur durch Temperaturveränderungen ist allerdings nur durch ein entsprechendes thermomechanisches Training zum Zweiweg-Effekt möglich. Die Größe des Zweiweg-Effekts ist auf ca. 2% eingeschränkt, wobei ein Memory-Element nicht im Stande ist, die Arbeit gegen eine Außenkraft zu leisten.

Der Einweg-Effekt dagegen besteht darin, dass ein Memory-Element seine martensitische Tieftemperaturverformung (z. B. durch die Dehnung $\varepsilon_M = \frac{\Delta L}{L_0}$) bis zu 8% bei seinem Erwärmen über die A_f -Temperatur vollständig zurückstellt und zu seiner Soll-Hochtemperaturform wie-

derfindet. Wird diese Rückstellung durch eine Außenkraft F verhindert, leistet das Memory-Element mit einem Querschnitt S und einer Länge L_0 entsprechende Arbeit $A = F \cdot \Delta L = \sigma \cdot \varepsilon_M \cdot S \cdot L_0$.

Für die vollständige Rückkehr zur seiner Tieftemperaturform bei der Abkühlung muss dann eine in die entgegengesetzte Richtung wirkende Außenkraft an das Memory-Element einwirken, die bei technischen Anwendungen von Memory-Legierungen als sogenannten Memory-Aktuatoren durch die elastischen auf Memoryl-Elemente wirkenden Bias-Elemente wie z. B. Stahlfeder angebracht wird.

Die für die erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffe nach Ansprüche 1 bzw. Werkstoffverbunde nach Anspruch 2 geeignete Lösung nutzt den Formgedächtniseffekt oder Shape-Memory-Effekt (Fig. 1) sowie den mit ihm verbundenen Krafteffekt (Fig. 2) der Memory-Elemente und die elastische, entgegenwirkende Kraft (Spannung) der Elastomeren-Matrix (Fig. 4 und Fig. 6) bzw. des Elastomeren-Teils (Fig. 5), welche die reversiblen Bewegungen mit bestimmten Frequenzen und Amplituden nur durch wechselnde Erwärmung und Abkühlung der Memory-Elemente ohne spezielle Bias-Elemente produzieren kann.

Das vorteilhafte Verbinden der pseudoelastischen Kraft der mechanischen bzw. elektromechanischen Memory-Elemente (2) in einem Gegenverhältnis mit der elastischen Kraft der Elastomeren-Matrix (1) bzw. der Elastomeren-Teile (1) gewährleistet die Rückstellung der martensitischen Verformung der Memory-Elemente (die Rückkehr zu ihrer Soll-Hochtemperaturform), wenn ihre pseudoelastische Kraft (bzw. Spannung) bei ihrem Erwärmen die elastische Kraft (bzw. Spannung) der Elastomeren-Matrix (1) bzw. der Elastomeren-Teile (1) übersteigt (Fig. 2, Aufheizen) und die Wiederherstellung der martensitischen Verformung (die Rückkehr zu ihrer Soll-Tieftemperaturform) durch die elastische Rückstellungskraft der Elastomeren-Matrix (1) bzw. der Elastomeren-Teile (1), wenn diese die pseudoelastische Kraft (bzw. Spannung) der Memory-Elemente während ihres Abkühlens übersteigt (Fig. 2, Abkühlen). Weitere Informationen zu den Memory-Effekten und deren Hintergründen sind in den Veröffentlichungen von V. Prieb (Tech. Phys. 41(1996)1132-1144) und D. Stöckel (Engineering Aspects of Shape Memory Alloys" (eds. T.W. Duerig, K.N. Melton et al.), 11(1990)302-307) zu finden.

Da sich die Memory-Elemente (2) im Abkühlungsstadium bzw. im abgekühlten, vollkommen martensitischen Zustand mit der kleinen pseudoplastischen Fließgrenze des Martensits σ_{ME} befinden, werden diese durch die elastische Kraft der Elastomeren-Matrix (1, Fig. 4 und Fig. 6) bzw. der Elastomeren-Teile (1, Fig. 5) martensitisch verformt. Diese Ausführung vereinfacht die Konstruktion durch das Wegfallen eines passiven elastischen Bias-Elementes, das die

ursprüngliche martensitische Verformung während der Abkühlung des aktiven Memory-Elements (2) wiederherstellt.

Die durch die Stärke bzw. durch den Querschnitt S_{ME} bestimmte pseudoelastische Kraft $F_{ME}(T)$ bzw. pseudoelastische Spannung $\sigma_{ME}(T) = \frac{F_{ME}(T)}{S_{ME}}$ (Fig. 2) der Memory-Elemente (2) kann während ihres Aufheizens die mit der Temperaturerhöhung sinkende elastische Rückstellungskraft $F_{El}(T)$ bzw. elastische Rückstellungsspannung $\sigma_{El}(T) = \frac{F_{El}(T)}{S_{El}}$ (Fig. 2) der Elastomeren-Matrix (1, Fig. 4 b und Fig. 6 b, c) bzw. der Elastomeren-Teile (1, Fig. 5) weit übersteigen, wobei die pseudoelastische Spannung der Memory-Elemente immer unter dem Bruchgrenzwert $\sigma_{ME}(T) < \sigma_B$ (Fig. 3) durch die Stromstärke und die Temperaturerhöhung weniger als die Bruchtemperatur $T < T_B$ (Fig. 3) eingestellt werden soll. Die pseudoelastische Spannung des realen Memory-Elements aus einer Cu-Basis Memory-Legierung (Fig. 3) steigt mit der Temperatursteigerung bis mehr als 700 MPa oder bis mehr als 70 kg/mm², sodass eine für die konkrete Anwendung notwendige pseudoelastische Kraft durch den Querschnitt und die Anzahl von Memory-Elementen erreicht werden kann.

Auf diese Weise kann die Spannungsdifferenz $\sigma_{ME}(T) - \sigma_{El}(T) = \Delta\sigma(T)$ bis zu ihrem maximalen Wert $\Delta\sigma(T) = \sigma_{\max}$ erhöht und bei der Bewegungsamplitude $\Delta L = L_b - L_a$ (Fig. 4 a, b, z. B.) für die nützliche mechanische Arbeit $W = F_{\max} \cdot A = \sigma_{\max} \cdot \varepsilon_M S_{ME} \cdot L_a$ eines Aktuators aus den erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffen nach Anspruch 1 (Fig. 4 und Fig. 6) bzw. aus den erfindungsgemäßen Werkstoffverbunden nach Anspruch 2 (Fig. 5) eingesetzt werden.

Als Memory-Elemente (2) für die erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffe nach Anspruch 1 können geradförmige in martensitischem Zustand gedehnte Memory-Drähte oder Memory-Streifen in die Elastomeren-Matrix (1) eingebettet werden, während Memory-Elemente (2) für die Werkstoffverbunde nach Anspruch 2 in ihren verschiedensten Geometrien und Formen mit Elastomeren-Teilen (1) mechanisch verbunden werden können, wie es Fig. 7 für den Werkstoffverbund in Fig. 5 zeigt. Das Memory-Element (2) wird als eine konische Feder (**b**) aus einer Memory-Walzplatte (**a**) mit Hilfe, z. B., eines Lasers ausgeschnitten, in martensitischem Zustand auseinander gezogen, in dieser Federform (**b**) bei 800°C in einem diese Form festhaltenden Gerüst gegläht, nach dem Abkühlen zu ihrer Ausgangsform (Fig. 5 a) martensitisch verformt und in den Elastomeren-Teil (1, Fig. 5) eingebaut.

Alle oben beschriebenen Merkmale und jede ihrer denkbaren Kombinationen miteinander fallen, soweit es technisch bzw. logisch sinnvoll ist, unter den Anwendungsbereich dieser Erfindung. Ferner fallen alle Änderungen und Modifikationen, die für Fachleute aufgrund der gera-

de beschriebenen Erfindung offensichtlich sind, ebenfalls unter den Anwendungsbereich der Erfindung wie er in den beigefügten Ansprüchen definiert ist.

Hierzu:

**10 Patentansprüche auf 3 Seiten und
7 Zeichnungen auf 6 Seiten und**

Patentansprüche:

1. Verbundwerkstoffe aus Elastomeren und Memory-Legierungen dadurch gekennzeichnet, dass diese aus der elastischen Elastomeren-Matrix (1) in einer ihrer gewünschten Design-

Formen und den aus einer Legierung mit Memory-Eigenschaften oder Memory-Legierung gefertigten und in ihrer Tieftemperaturform in diese Elastomeren-Matrix (1) eingebetteten Memory-Elementen (2) bestehen, welche zur Herstellung von beweglichen industriellen und Kunst-Design-Produkten geeignet sind, die in verschiedenen Konstruktionen als bewegliche Design-Komponenten auf verschiedenste Weise angewendet werden können, wobei die Beweglichkeit dieser Design-Komponenten als ihre wiederkehrenden Formänderungen bei Temperaturveränderungen ihrer Umgebung bzw. ihrer Memory-Elemente (2) durch Ein- und Ausschalten des elektrischen Stroms im an diese Memory-Elemente (2) angeschlossenen Stromkreis durch die entgegengesetzte Wirkung der elastischen Kraft der Elastomeren-Matrix (1) und der pseudoelastischen Kraft der in diese Elastomeren-Matrix (1) eingebetteten Memory-Elemente (2) gewährleistet wird.

2. Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen dadurch gekennzeichnet, dass diese aus elastischen Elastomeren-Teilen (1) in einer ihrer gewünschten Design-Formen und den aus einer Legierung mit Memory-Eigenschaften oder Memory-Legierung gefertigten und in ihrer Tieftemperaturform mit diesen Elastomeren-Teilen (1) mechanisch zusammengesetzten Memory-Elementen (2) besteht und in verschiedenen Konstruktionen als bewegliche Design-Komponenten auf verschiedenste Weise angewendet werden können, wobei die Beweglichkeit dieser Design-Komponenten als ihre wiederkehrende Formänderungen bei Temperaturveränderungen ihrer Umgebung bzw. ihrer Memory-Elemente (2) durch Ein- und Ausschalten des elektrischen Stroms im an diese Memory-Elemente (2) angeschlossenen Stromkreis durch die entgegengesetzte Wirkung der elastischen Kraft der Elastomeren-Teile (1) und der pseudoelastischen Kraft der mit diesen Elastomeren-Teilen (1) mechanisch zusammengesetzten Memory-Elemente (2) gewährleistet wird.
3. Verbundwerkstoff aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Memory-Elemente (2) in ihrer durch die martensitische Verformung der Design-Form der Elastomeren-Matrix (1) angepassten Tieftemperaturform in die Elastomeren-Matrix (1) in einem konventionellen Spritzgussverfahren eingebettet werden, in dem die Elastomeren-Matrix (1) zu ihrer Design-Form bei der Raumtemperatur geformt wird, welche diese durch ihre Elastizität beim Abkühlen der Memory-Elemente (2) unter die Start-Temperatur der martensitischen Hinumwandlung (M_s) anstrebt, und dadurch zusammen mit den Memory-Elementen (2) einen neuen Verbundwerkstoff mit neuen mechanischen Eigenschaften bildet.
4. Verbundwerkstoff aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Ansprüche 1 und 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Elastomeren-Matrix (1) mit den in diese eingebetteten Memory-Elementen (2) in ihrer Design-Form in einem Selbst- oder Kalthärtungsverfahren bzw.

in einem Vulkanisationsverfahren bei Temperaturen tiefer als die Start-Temperatur der martensitischen Rückumwandlung (A_s) der Memory-Elemente (2) polymerisiert wird.

5. Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass der Elastomeren-Teil (1) zu seiner Design-Form bei der Raumtemperatur in einem konventionellen Spritzgussverfahren geformt und in dieser Design-Form polymerisiert wird, welche dieser durch seine Elastizität bei der Abkühlung des Memory-Elements (2) unter die Start-Temperatur der martensitischen Hinumwandlung (M_s) anstrebt.
6. Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Ansprüche 2 und 5 dadurch gekennzeichnet, dass das Memory-Element (2) in seiner durch die martensitische Verformung der Design-Form des Elastomeren-Teils (1) angepassten Tieftemperaturform mit dem nach Anspruch 5 gebildeten Elastomeren-Teil (1) zu einer einheitlichen Design-Konstruktion mechanisch zusammengesetzt wird und somit zusammen mit dem Elastomeren-Teil (1) ein neuer Werkstoffverbund mit neuen mechanischen Eigenschaften bildet..
7. Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass diese bzw. die aus diesen gemachte Design-Komponenten in verschiedene Leucht- bzw. Heiz- und Wärmeanlagen ein- bzw. angebaut werden und deren reversible Bewegungen durch die beim Erwärmen direkt durch die Wärme der Anlage nach deren Einschalten entstehende und die elastische Kraft der Elastomeren-Matrix bzw. des Elastomeren-Teils (1) übersteigende pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (2) sowie durch die beim Abkühlen nach dem Ausschalten der Anlage die nachlassende pseudoelastische Kraft der Memory-Elemente (2) übersteigende elastische Kraft der Elastomeren-Matrix (1) bzw. des Elastomeren-Teils (1) erzeugt werden.
8. Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde aus Elastomeren und Memory-Legierungen nach Ansprüche 1 bis 7 dadurch gekennzeichnet, dass die Memory-Elemente (2) durch die elektrischen Kontakte an ihren Endungen an eine Stromquelle angeschlossen und durch den elektrischen Strom erwärmt werden können.
9. Autoreifen aus einem Verbundwerkstoff nach Ansprüche 1, 3, 4 und 8 dadurch gekennzeichnet, dass dieser aus Gummi als Elastomeren-Matrix (1) und mehreren in ihrem durch die martensitische Dehnung verformten Zustand in diese Gummi-Matrix (1) über den Stahlgürtel bei der Raumtemperatur ringsförmig unter der Lauffläche eingebetteten Memory-Elementen (2) besteht und die aus diesem Verbundwerkstoff hergestellte Autoreifen in der Mitte ein Sommerreifenprofil, beiderseitig ein Winterreifenprofil und ebenfalls beiderseitig, an äußersten Rändern um den Reifen herum mehrere Stahlstifte als Dornen aufweisen, so-

dass in einem Normalfall das Sommerprofil die Verbindung mit trockenem Untergrund herstellt, während sich das Winterprofil und die Dornen seitlich ohne Kontakt zur Fahrbahn befinden.

10. Autoreifen nach Ansprüche 1, 3, 4, 8 und 9 dadurch gekennzeichnet, dass das Sommerprofil bei der wetterbedingten Verschlechterung seiner Haftung mit der Fahrbahn durch Einschalten des elektrischen Stroms am Steuerbrett des Autos und durch das erwärmen der Memory-Elemente (2) durch deren pseudoelastische Kraft eingedrückt wird, sodass erst das Winterprofil und dann beim weiteren Erwärmen der Memory-Elemente (2) und Vergrößern deren pseudoelastischen Kraft die Stahlstifte als Dornen aus ihrer seitlichen Lage in Kontakt mit der Fahrbahn befördert werden und somit die Haftung der Reifen mit der Fahrbahn erheblich erhöhen.

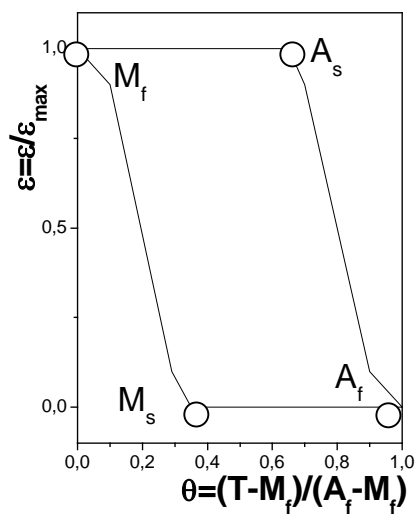


Fig. 1

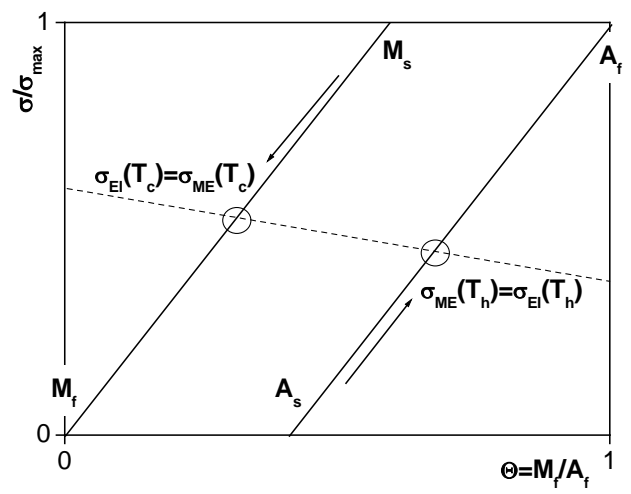


Fig. 2

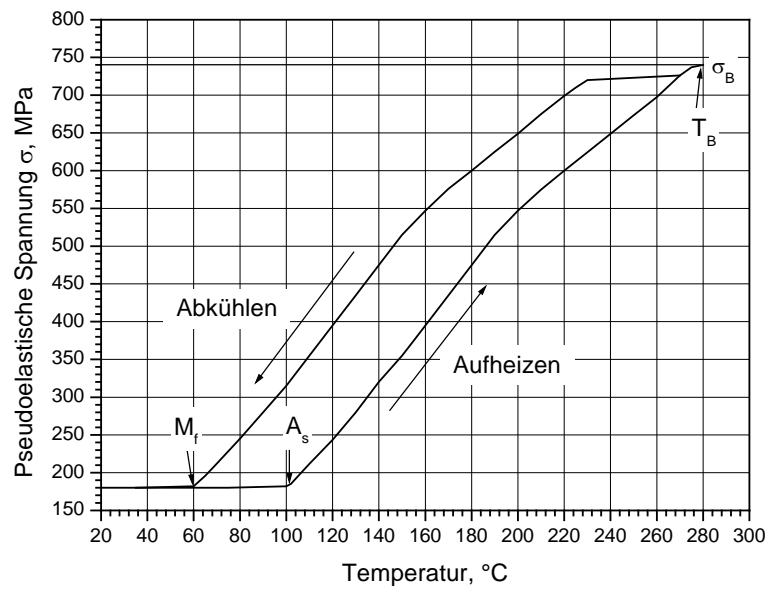


Fig. 3

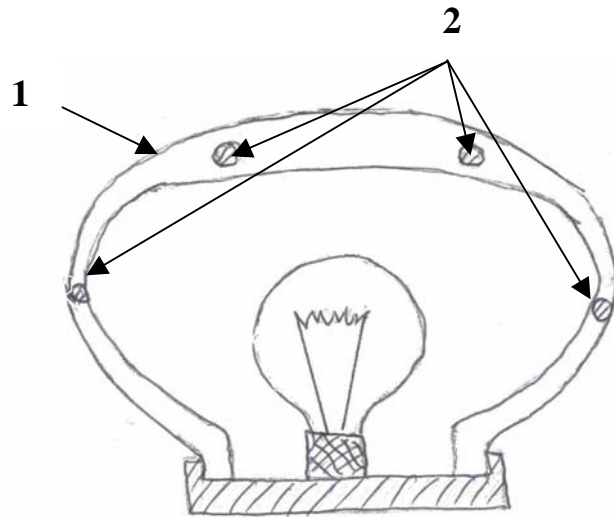


Fig. 4 a

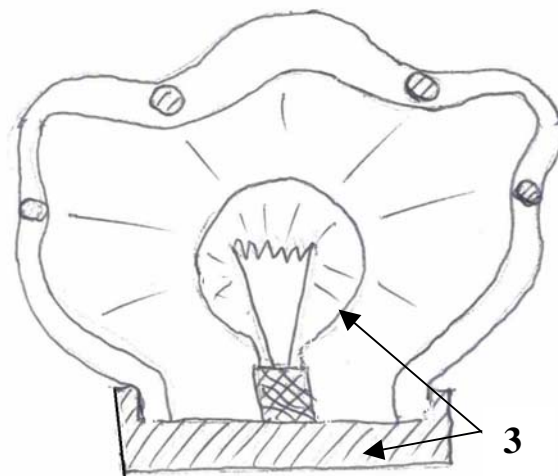


Fig. 4 b

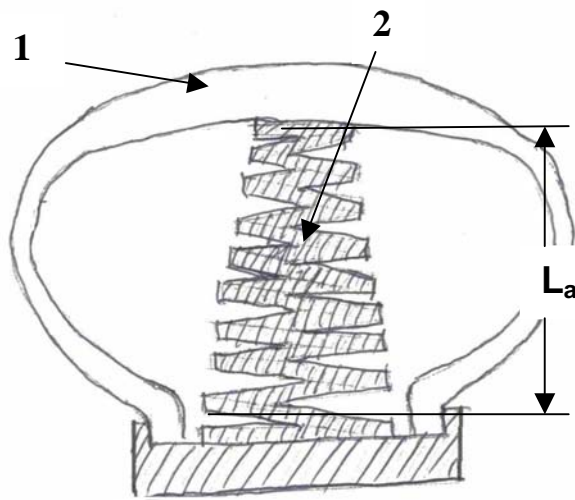


Fig. 5 a

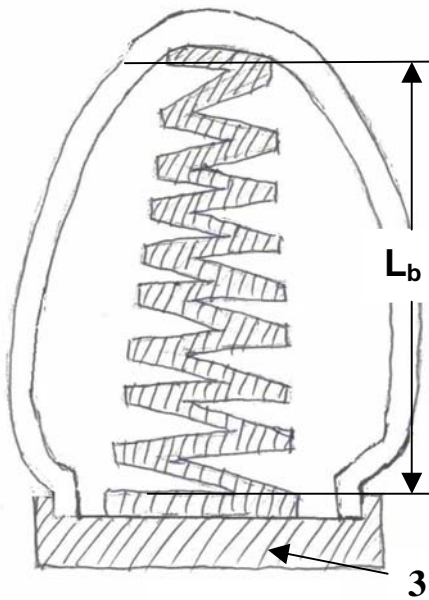


Fig. 5 b

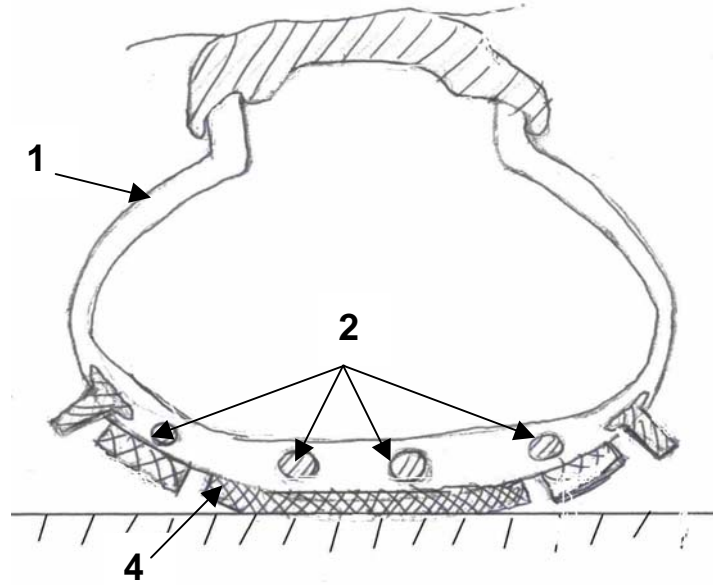


Fig. 6 a

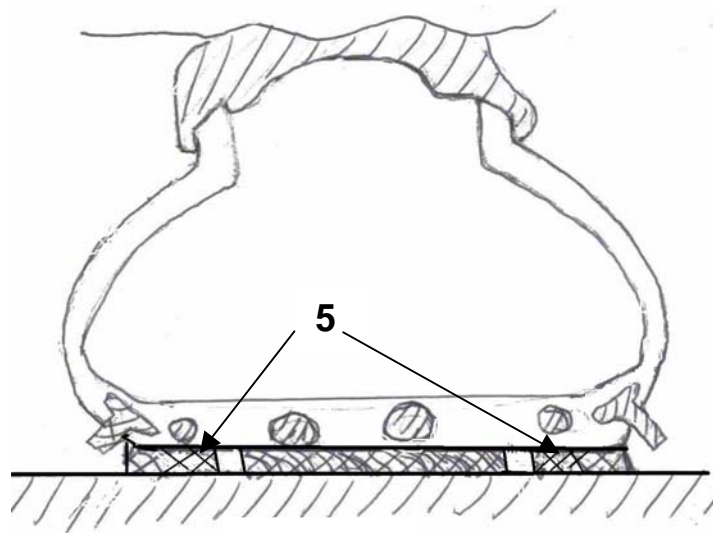


Fig. 6 b

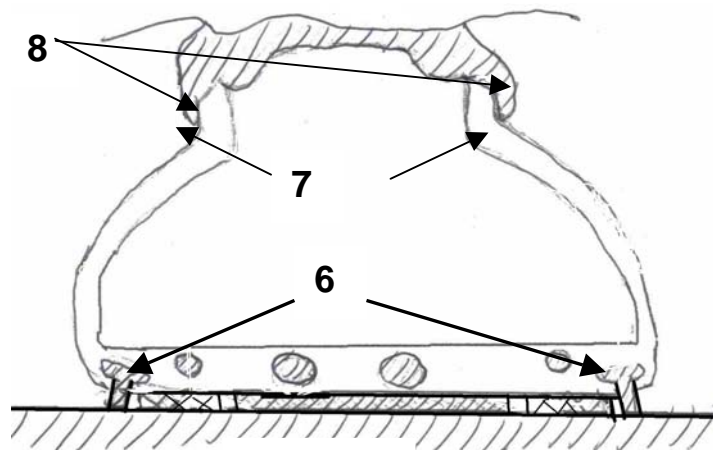
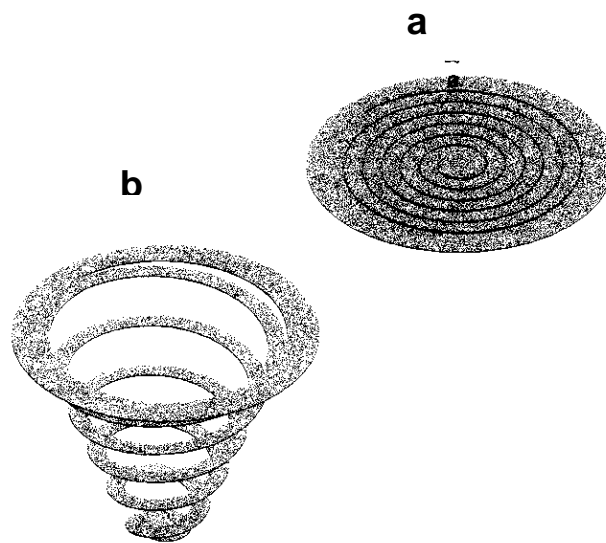


Fig. 6 c

Fig. 7



Verzeichnis der zitierten Nichtpatentliteratur:

1. O. Schwarz, H. Schirber, N. Schlör. Kunststoffkunde: Aufbau, Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendungen der Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere. Ebeling (Hrsg.), Vogel Fachbuch, 2007, 304S.
2. "Rubber parts & rubber-metal-parts. Rubber home of cofermin chemicals". Essen, Germany (<http://www.rubber-products.org>)
3. K. Eichner, H.F. Kappert. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Stuttgart, 2006
4. Will Knight in „New Scientist“ vom 30.06.2004
5. L. Grenacher und andere. Experimentelle Erprobung eines neuen Spulendesigns zur endoluminalen MRT, Experimentelle Radiologie 177(2005)986-991
6. V. Prieb. Thermoelasticity and hysteresis of martensitic transformation in shape memory alloys. Parts I - III. Tech. Phys. 41(1996)1132-1144
7. D. Stöckel. Shape Memory Actuators for Automotive Applications, in "Engineering Aspects of Shape Memory Alloys" (eds.) T.W. Duerig, K.N. Melton et al., 11(1990)302-307